



Capítulo vi.

Sistemas de siembra

Oscar de Jesús Córdoba Gaona

La densidad de plantación es el parámetro más importante para decidir el alcance de la competencia que afecta el crecimiento y el rendimiento en los árboles, dado que la competencia entre árboles de caucho es un efecto del tamaño, el número, la proximidad y la disposición espacial de estos (Wei et al., 2005; Hein et al., 2008; Naji & Sahri, 2012). La densidad estándar para sembrar caucho en Colombia ha sido de 500 árboles por hectárea, independientemente del genotipo o clon de caucho, su crecimiento y características morfológicas, o de los factores ambientales en las regiones productoras. Se supone que esta densidad proporciona el espacio óptimo requerido por el árbol de caucho maduro para toda la vida útil y se espera que la competencia dentro de la especie esté en su nivel más favorable, para así producir el mayor rendimiento de caucho seco por hectárea (Pathriratna, 2006). Sin embargo, hay que considerar que, además de la densidad de siembra, los sistemas de siembra modifican la competencia dentro de la especie, debido a la disposición o distribución de los árboles en campo. Esto puede tener un efecto en el crecimiento y en el rendimiento del cultivo, particularmente después del comienzo de la etapa productiva, en el inicio de la extracción de látex.

Densidad de siembra

El espacio juega un papel importante en el desarrollo óptimo del árbol; el tamaño y la distribución espacial del dosel están relacionados con la cantidad de luz capturada por las hojas, y esa relación se utiliza para medir la productividad en las plantaciones respecto a la proporción de energía luminosa convertida en biomasa vegetal. Por lo tanto, es importante estudiar las densidades de plantación para lograr un crecimiento óptimo de los árboles y utilizar un sitio para la producción máxima de biomasa

de madera (Naji & Sahri, 2012). Por lo anterior, la eficiencia espacial y temporal del crecimiento de las plantas determina la productividad general de las plantaciones de caucho; el crecimiento y el rendimiento están fuertemente influenciados por la densidad de plantación, por lo que comprender sus efectos en las características individuales de los árboles es un paso importante para optimizar la densidad de siembra, adoptar combinaciones de cultivos adecuadas y aumentar el valor y la utilización de productos forestales (látex) de los bosques de plantación (caucho) (Rodrigo, 2007; Hein et al., 2008; Dey & Datta, 2013).

La densidad óptima de siembra varía con el tipo de clon, la oferta ambiental (clima) y las condiciones del terreno (edáficas y topográficas) en cada región específica; no obstante, el rendimiento del cultivo de caucho por lo general no varía mucho y se mantiene en un rango bastante amplio de densidades, por lo que se recomienda entre 500 y 600 árboles por hectárea (Heng & Joo, 2017). A continuación, se presentan algunas consideraciones con relación al empleo de altas (> 600 plantas/ha) o bajas (<500 plantas/ha) densidades de siembra:

- El aumento en el potencial de rendimiento del cultivo de caucho proviene principalmente de la habilidad del cultivo para resistir el aumento en la densidad de siembra (Evans & Fischer, 1999).
- En general, el crecimiento en la circunferencia, el grosor de la corteza, el tiempo requerido para la entrada a sangría, así como la producción individual de látex, están directamente relacionados con la distancia entre las plantas (Empresa Brasileira de Assistência Técnica e Extensão Rural [Embrater], 1983).
- Durante la etapa inicial de los árboles, la densidad de siembra no tiene ningún efecto marcado en la circunferencia del tallo; sin embargo, a medida que se incrementa la competencia entre las plantas, las altas densidades afectan el desarrollo de los árboles (Dey & Datta, 2013).
- Es importante tener en cuenta el costo del material de siembra (*stumps*), la siembra, el mantenimiento durante la fase inmadura y madura, y el costo de aprovechamiento del cultivo (materiales, sangría y procesamiento), los cuales varían en función del número de árboles por hectárea (Pathriratna, 2006).

Altura

Las altas densidades hacen que los árboles crezcan más altos en proporción al diámetro, lo que lleva un periodo de inmadurez más largo y un retraso en el inicio de la producción (Sethuraj & Raghavendra, 1992). Después de ocho años de cultivo y densidades superiores, 600 árboles por hectárea generan un menor porcentaje de árboles listos para la extracción por unidad de área, mientras que en bajas densidades se incrementa el número de árboles aprovechables (Dey & Datta, 2013).

Copa

La densidad de siembra que exceda los 600 árboles/ha afecta de manera negativa la arquitectura del dosel y puede afectar la tasa de crecimiento de los árboles maduros (Sethuraj & Raghavendra, 1992). La plantación en altas densidades induce la formación de una copa (dosel) más estrecha y las plantas desarrollan una corona más compacta y pequeña, en comparación con las plantas en parcelas de menor densidad, debido a la autopoda que afecta la interceptación de la luz (Pathriratna, 2006; Dey & Datta, 2013). Bajo altas densidades, la copa del árbol puede tener una distribución superpuesta del área foliar, lo que está asociado a una menor producción de ramas principales, que en la mayoría de los casos reduce el tamaño del dosel (Sethuraj & Raghavendra, 1992).

Perímetro del tallo

El crecimiento de los árboles después del inicio de la sangría se reduce considerablemente y el crecimiento durante la fase inmadura desempeña el papel más importante en la determinación de sus rendimientos futuros (Webster & Paardekooper, 1989). El crecimiento deficiente de los árboles retrasa el momento de aprovechamiento; en otras palabras, el periodo inmaduro se extiende (Pathriratna, 2006). En bajas densidades, los árboles de caucho crecen más rápido, alcanzan una circunferencia aprovechable temprana y producen más por árbol individual. Por el contrario, el aumento de la densidad de siembra reduce la circunferencia del árbol a lo largo de los años, a tal punto que en altas densidades se presentan árboles no aptos para sangría, por no haber desarrollado una

circunferencia mínima de 50 cm; dichas densidades pueden llegar al 10% de la plantación (Rodrigo et al., 1995; Dey & Datta, 2013).

Asimismo, árboles con menores perímetros o tallos más delgados dan como resultado paneles de sangría más pequeños, una reducción en el grosor de la corteza virgen y renovada, y el número de anillos de látex en la corteza, lo que finalmente reduce el rendimiento (Webster & Paardekooper, 1989). Todos estos son factores determinantes e importantes en el rendimiento, que afectan la producción de gramos por árbol en cada sangría. Debido a estos efectos, el rendimiento por árbol tiende a ser menor, con un mayor número de árboles por unidad de área (Naji & Sahri, 2012).

Rendimiento

El rendimiento por hectárea aumenta con el incremento de la densidad de las plantas durante los años iniciales. Sin embargo, en los años siguientes, el rendimiento disminuye por la competencia entre árboles y la reducción del dosel, que afecta la capacidad de fotosíntesis, la fijación de carbono y la producción de azúcares. Por esto, el rendimiento por árbol en cada sangría se relaciona negativamente con el aumento de la densidad de las plantas, a tal punto que en densidades de siembra superiores a 600 árboles por hectárea, el rendimiento de caucho por área no se incrementa, razón por la cual un mayor número de árboles no está asociado a un mayor rendimiento por área (Brummer, 1992; Rodrigo et al., 1995; Obouayeba et al., 2005; Naji & Sahri, 2012; Dey & Datta, 2013). En cuanto a los aspectos económicos de la siembra de caucho en diferentes densidades, algunos estudios han concluido que el rendimiento acumulado por área aumenta a medida que la densidad de siembra pasa de 200 a 600 árboles ha^{-1} ; sin embargo, por encima de los 600 árboles por hectárea el rendimiento acumulado disminuye y los costos de producción son superiores a los ingresos, por lo que el beneficio económico es negativo (Sethuraj & Raghavendra, 1992).

Sistemas de siembra

La selección del sistema de siembra depende de las condiciones climáticas, la topografía y los recursos disponibles para el establecimiento del cultivo. En el caso del cultivo de caucho, se puede emplear la siembra en monocultivo o en sistemas agroforestales.

Monocultivo

En la mayoría de las plantaciones del sector privado y en algunas de pequeños productores, el caucho generalmente se cultiva como monocultivo. Aquí se utilizan prácticas de manejo sensibles, ya que el objetivo principal es obtener el máximo rendimiento económico de las plantaciones al reducir la fase improductiva y maximizar el rendimiento durante la fase productiva (Prabhakaran Nair, 2010).

Cultivos asociados - sistemas agroforestales

La agroforestería es un sistema dinámico que se basa en el concepto de asociar árboles con cultivos en el mismo terreno, simultánea o secuencialmente, para obtener mayores beneficios, diversidad de ingresos y sostenibilidad para la preservación del medio ambiente (Atangana et al., 2014). En la sección “Sistemas agroforestales” se detallará este tipo de cultivo.

Distribución sobre terreno y arreglos espaciales

Para el establecimiento del cultivo del caucho existen varios sistemas de trazado, siendo el de cuadrado y el de triángulo (tres-bolillo) los más convencionales (Sethuraj & Raghavendra, 1992; Eraso Rosero & Toro Delgado, 2006). Sin embargo, para elegir el sistema de siembra y el arreglo o disposición de los árboles de caucho en el terreno, se recomienda tener en cuenta los siguientes aspectos:

- El cultivo de caucho requiere un área útil de 19 a 25 m² por cada árbol y el distanciamiento entre plantas no deberá ser menor que 2,5 m (Embrater, 1983; Aguirre & Santoyo, 2013).

- El sistema en triángulo permite establecer un 15% más de árboles por unidad de área, en comparación con el sistema en rectángulo (Dagoon, 2005).
- La siembra en rectángulo difiere de la del triángulo no solo por el número de plantas que pueden ser ubicadas por unidad de área, sino también por la orientación de los árboles. En el sistema en triángulo, la distribución de los árboles es más equidistante, lo que permite un mejor desarrollo de la parte aérea y del sistema radical, así como un menor cruzamiento entre ramas y una menor competencia por luz, agua y nutrientes (figura 22 a-d) (Dagoon, 2005).
- Una de las ventajas de la siembra en rectángulo es que es más simple para implementar y tiene un mayor espacio entre los surcos (calles), lo cual puede permitir la realización de operaciones interculturales con mayor facilidad; sin embargo, en el sistema en triángulo del cultivo de caucho, los espacios entre surcos son lo suficientemente favorables para llevar a cabo las distintas prácticas culturales.
- Para terrenos planos o levemente ondulados, tanto el rectangular como el triangular son sistemas recomendados; mientras que si el terreno es inclinado, se sugiere la siembra en curvas a nivel o en contorno (figura 22 e-f).

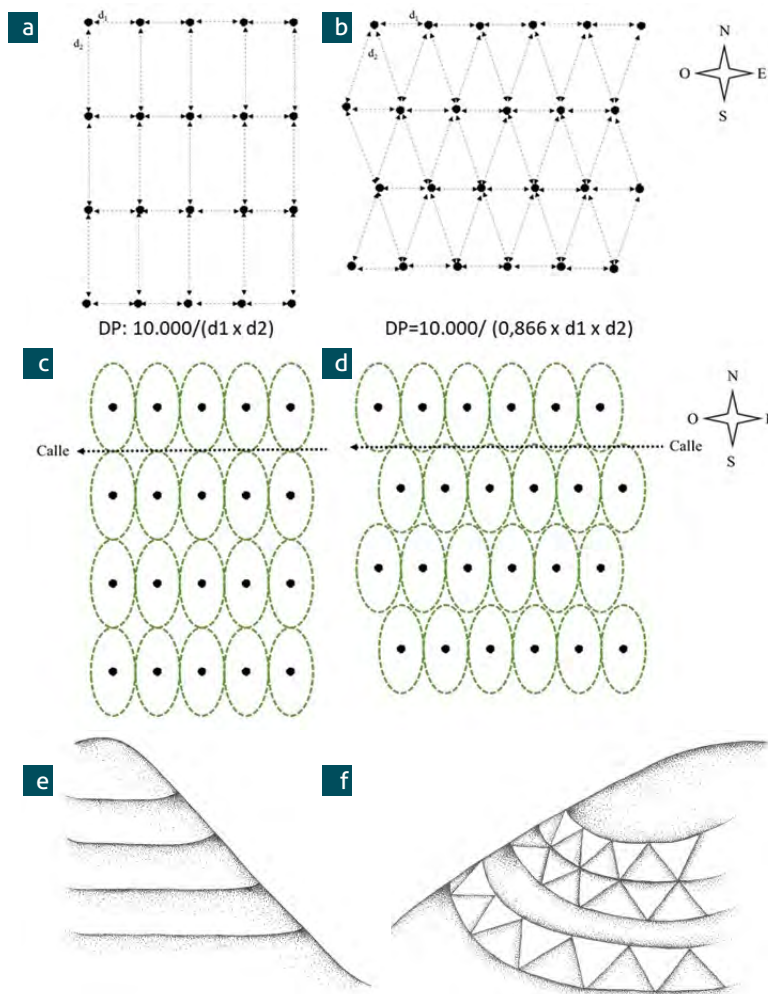


Figura 22.

Sistemas de trazado para el cultivo de caucho en el departamento de Antioquia, Colombia. a. Rectángulo; b. Triángulo; c. Rectángulo; d. Triángulo; e. Curvas a nivel; f. En contorno.

Nota: DP: densidad de plantas; d1 y d2: distancia entre plantas.

Ilustración: Sara Isabel bedoya Ramírez, Oscar de Jesús Córdoba

Arreglos espaciales

El arreglo espacial tiene como objetivo la distribución ordenada de las plantas en el terreno para permitir el mejor aprovechamiento del suelo y de la radiación incidente por el cultivo. Cuando se utilizan distancias superiores a los siete metros entre surcos, se recomienda orientar las líneas

de siembra en el sentido de los vientos dominantes (Golçalves et al., 2011). El sistema de siembra y el arreglo espacial de plantas varía dependiendo del sistema adoptado por el productor; sin embargo, se recomienda que la densidad de siembra esté entre los 500 y 600 árboles por hectárea, lo cual se puede obtener con diferentes arreglos espaciales como los indicados en la tabla 15 y en las figuras 23, 24, 25 y 26.

Tabla 15. Sistemas de siembra y densidades de plantas por hectárea para el establecimiento del cultivo de caucho en el Bajo Cauca antioqueño

| Sistema de siembra | Distancia entre surcos (m) | Distancia entre plantas (m) | Densidad en triángulo (plantas/ha) | Densidad en rectángulo (plantas/ha) | Fuente |
|--------------------|----------------------------|-----------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|--|
| Surco sencillo | | | | | |
| SS1 | 6 | 3 | 638 | 555 | Aguirre y Santoyo (2013) |
| SS2 | 7 | 2,8 | 586 | 510 | Candelo Cárdenas et al., (1997); Zuleta et al. (2004); Confederación Cauchera Colombiana (ccc, 2010); Cristancho y Silva (2011); Vásquez Silva y Arroyabe Tobón (2014) |
| SS3 | 7 | 2,5 | 656 | 571 | Pereira et al. (2001); ccc (2010) |
| SS4 | 7 | 3 | 547 | 476 | Embrater (1983); Pereira (1992); Pereira et al. (2001); Zuleta et al. (2004) |
| SS5 | 8 | 3 | 478 | 416 | Pereira (1992); Pereira et al. (2001) |
| SS6 | 8 | 2,5 | 575 | 500 | Pereira (1992); Pereira et al. (2001) |
| Surco doble | | | | | |
| SD1 | 10 | 4 x 3 | 486 | 475 | Pereira et al. (2001) |
| SD2 | 12 | 4 x 2,5 | 580 | 500 | Pereira et al. (2001) |
| SD3 | 9 | 3 x 3 | 570 | 550 | Escobar-Acevedo et al.(2004) |
| SD4 | 10 | 3 x 3 | 526 | 512 | Zuleta et al. (2004) |
| SD5 | 12 | 3 x 3 | 454 | 444 | ccc (2010) |
| SD6 | 13 | 3 x 2,8 | 460 | 450 | Cristancho y Silva (2011) |
| SD7 | 13 | 3 x 2,5 | 510 | 500 | Córdoba (2007); Zuleta et al. (2004) |
| Surco triple | | | | | |
| ST1 | 20 | 2,5 x 2,5 | 350 | 320 | Rodrigo et al. (2004) |

Fuente: Elaboración propia

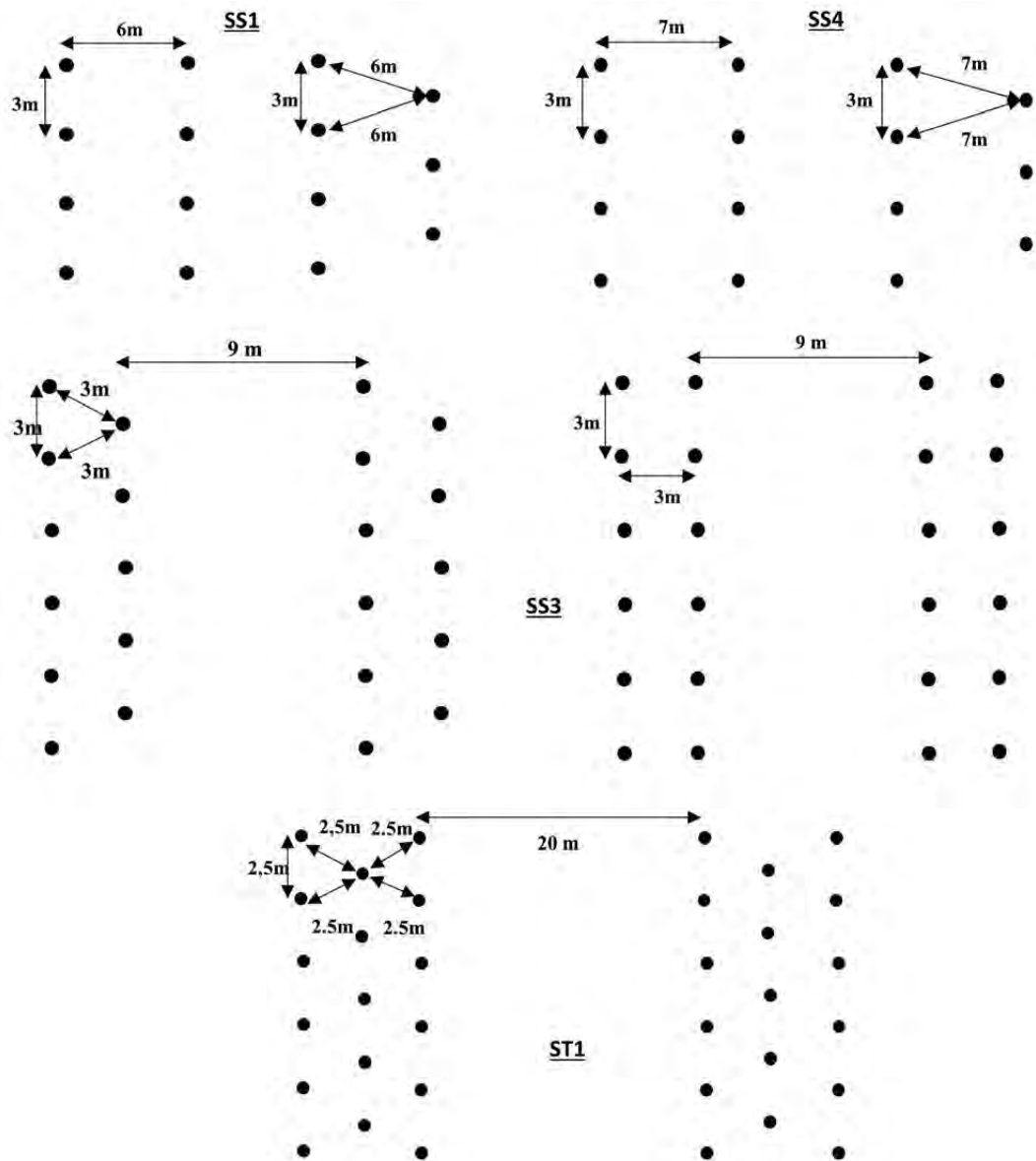


Figura 23.

Arreglos espaciales de los sistemas de siembra para el establecimiento del cultivo de caucho en el Bajo Cauca antioqueño.

Nota: ss: surco sencillo; sd: surco doble; st: surco triple.

Fuente: Elaboración propia



Figura 24.

Sistemas de trazado en surco sencillo para el establecimiento del cultivo de caucho.

Fotos: Oscar de Jesús Córdoba



Figura 25.

Sistemas de trazado en surco doble para el establecimiento del cultivo de caucho en el departamento de Antioquia, Colombia.

Fotos: Oscar de Jesús Córdoba



Figura 26.

Sistemas de trazado en rectángulo para el establecimiento del cultivo de caucho en el departamento de Antioquia, Colombia.

Fotos: Oscar de Jesús Córdoba

Sistemas agroforestales

La agroforestería es un sistema dinámico que se basa en la idea de asociar árboles con cultivos en el mismo terreno simultánea o secuencialmente para obtener mayores beneficios, diversidad de ingresos y sostenibilidad para la preservación del medio ambiente (Atangana et al., 2014). En los primeros años después de la plantación, antes de que se cierre la copa de los árboles, es posible plantar una variedad de cultivos adecuados en los espacios intermedios disponibles en las plantaciones jóvenes, lo que genera ingresos para el productor durante el periodo de inmadurez (de seis a siete años) de los árboles de caucho. Cuando se hace correctamente, los cultivos intercalados mejoran el crecimiento del caucho (Prabhakaran Nair, 2010).

Los sistemas agroforestales deben diseñarse para minimizar la competencia entre cultivos específicos, por lo que el uso de arreglos espaciales facilita una competencia menos específica y mantiene un uso eficiente de los recursos del sistema. Por ser el caucho más alto que la mayoría de los

otros cultivos económicos que se siembran en condiciones similares, el éxito de los cultivos intercalados con caucho de otras especies anuales o bianuales que necesitan del sol depende principalmente de la cantidad de radiación que penetra a través del dosel de los árboles de caucho, el cual es bastante denso por lo general, lo que permite el paso de poca radiación mientras los árboles se desarrollan (Rodrigo et al., 2004). Por lo anterior, las prácticas de cultivos intercalados con caucho se han limitado a la fase inmadura, cuando las plantas de caucho no son lo suficientemente grandes como para capturar todos los recursos disponibles (Rodrigo et al., 2004). Entre las prácticas más importantes del manejo agronómico para considerar durante esta fase, se incluyen el control de las plantas arvenses, el uso de coberturas, la inducción de ramificación, la poda de formación y el adecuado distanciamiento de los cultivos intercalados (Prabhakaran Nair, 2010). Ante esto, la distancia entre los árboles de caucho y los cultivos intercalados debe ser como mínimo de 1,5 a 2m durante los tres primeros años y de 2,5 a 3 m del cuarto año en adelante (Pereira et al., 2001; Prabhakaran Nair, 2010).

La densidad de 500 árboles/ha en un arreglo espacial de surcos sencillos es el sistema que mejor desempeño permite a los árboles de caucho; sin embargo, el cierre del dosel es rápido, lo que resulta en una pobre penetración de la luz después del cuarto año de plantación. Por lo anterior, aunque los sistemas de doble o triple surco proporcionan una mayor área con la adecuada penetración de la luz (sin sombra), el sistema de doble surco es el mejor para cultivos intercalados a largo plazo, pues permite el aprovechamiento de cultivos intercalados, con ciclos anuales o bianuales, y su establecimiento en las calles del cultivo de caucho por un mayor tiempo (Rodrigo et al., 2004; Prabhakaran Nair, 2010). Además, aunque el sistema de surco sencillo presenta un cierre rápido de las calles por el crecimiento del dosel del caucho, estas se pueden aprovechar durante los tres y cuatro primeros años después de establecerse el caucho, para la siembra de cultivos anuales de rápido crecimiento y aprovechamiento, que permitan reducir los costos que genera mantener la plantación de caucho.

A continuación, se presentan algunos sistemas agroforestales (cultivos intercalares) que pueden ser implementados en el cultivo de caucho durante los primeros años del desarrollo en su fase improductiva (Zuleta et al., 2004; Córdoba, 2007; Prabhakaran Nair, 2010).

Modelo agroforestal caucho-maíz

Para este modelo, se muestran los datos de distancias y densidad de siembra en la tabla 16 y un perfil horizontal con diseño en campo en la figura 27.

Tabla 16. Distancia y densidad de siembra para el modelo agroforestal caucho-maíz

| Especie | Distancia (m) surco sencillo | Densidad (plantas/ha) | Distancia (m) Surco doble | Densidad (plantas/ha) |
|---------|------------------------------|-----------------------|---------------------------|-----------------------|
| Caucho | 7 x 2,8 | 586 | 13 x 3 x 2,5 | 510 |
| Maíz | 1 x 0,25 | 22.800 | 1 x 0,25 | 23.300 |

Fuente: Elaboración propia



Figura 27.

Diseño modelo agroforestal caucho-maíz para el departamento de Antioquia, Colombia.

Foto: Oscar de Jesús Córdoba
Ilustración: Sara Isabel Bedoya Ramírez

Modelo agroforestal caucho-fríjol Caupí o fríjol común

Para este modelo, se muestran los datos de distancias y densidad de siembra en la tabla 17 y un perfil horizontal con diseño en campo en la figura 28.

Tabla 17. Distancia y densidad de siembra para el modelo agroforestal caucho-fríjol Caupí o fríjol común

| Especie | Distancia (m) Surco sencillo | Densidad (plantas/ha) | Distancia (m) surco doble | Densidad (plantas/ha) |
|---------|---------------------------------|--------------------------|------------------------------|--------------------------|
| Caucho | 7 x 2,8 | 586 | 13 x 3 x 2,5 | 510 |
| Fríjol | 0,8 x 0,15 | 48.600 | 0,8 x 0,15 | 47.600 |

Fuente: Elaboración propia

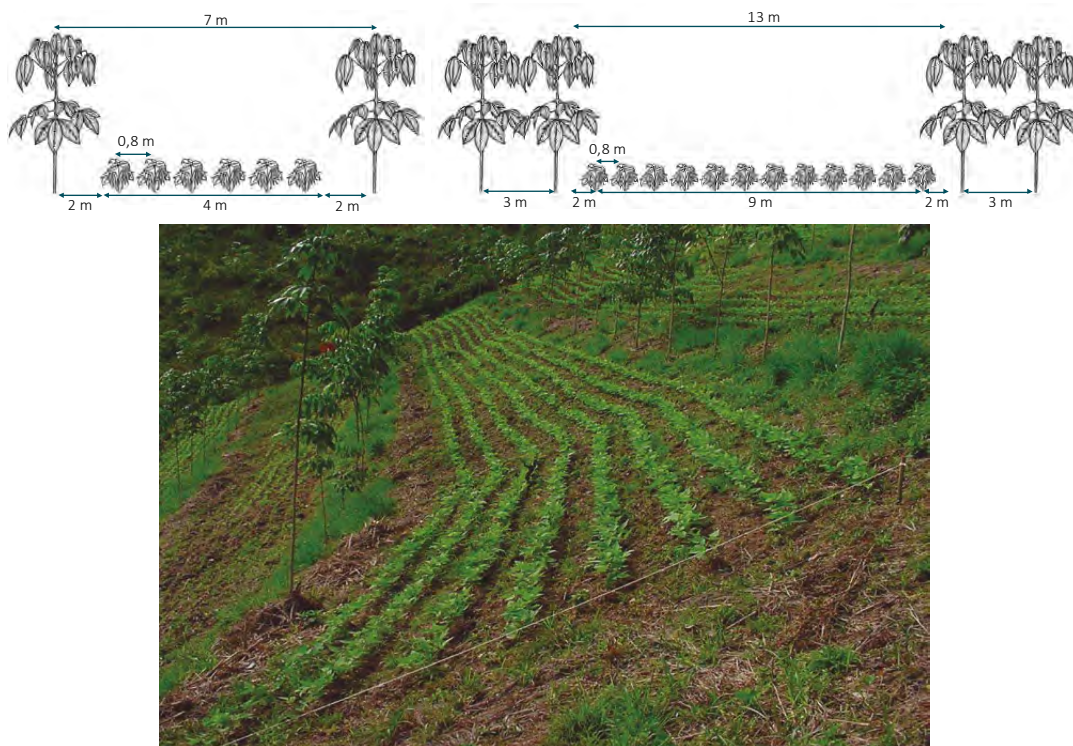


Figura 28.

Diseño modelo agroforestal caucho-fríjol para el departamento de Antioquia, Colombia.

Modelo agroforestal caucho-piña o arroz

Para este modelo, se muestran los datos de distancias y densidad de siembra en la tabla 18, y distancia y densidad de siembra para el modelo agroforestal caucho-piña o arroz y un perfil horizontal con diseño en campo en la figura 29.

Tabla 18. Distancia y densidad de siembra para el modelo agroforestal caucho-piña o arroz

| Especie | Distancia (m) surco sencillo | Densidad (plantas/ha) | Distancia (m) surco doble | Densidad (plantas/ha) |
|---------|------------------------------|-----------------------|---------------------------|-----------------------|
| Caucho | 7 x 2,8 | 586 | 13 x 3 x 2,5 | 510 |
| Arroz | 0,8 x 0,15 | 18.200 | 0,8 x 0,15 | 17.890 |
| Piña | 0,8 x 0,15 | 18.200 | 0,8 x 0,15 | 17.890 |

Fuente: Elaboración propia

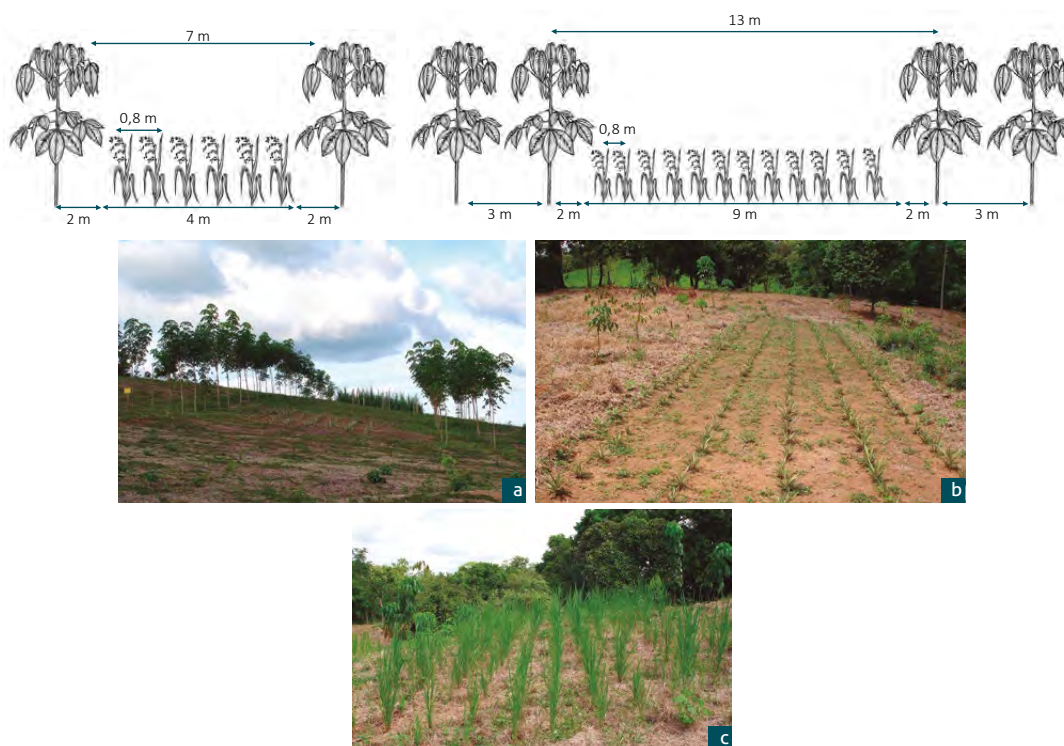


Figura 29.

Diseño modelo agroforestal para el departamento de Antioquia, Colombia. a. y b. Caucho-piña; c. arroz.

Foto: Oscar de Jesús Córdoba
Ilustración: Sara Isabel Bedoya Ramírez

Modelo agroforestal caucho-maracuyá

Para este modelo, se muestran los datos de distancias y densidad de siembra en la tabla 19 y un perfil horizontal con diseño en campo en la figura 30.

Tabla 19. Distancia y densidad de siembra para el modelo agroforestal caucho-maracuyá

| Especie | Distancia (m) surco doble | Densidad (plantas/ha) |
|----------|---------------------------|-----------------------|
| Caucho | 13 x 3 x 2,5 | 510 |
| Maracuyá | 4 x 3 | 48 |

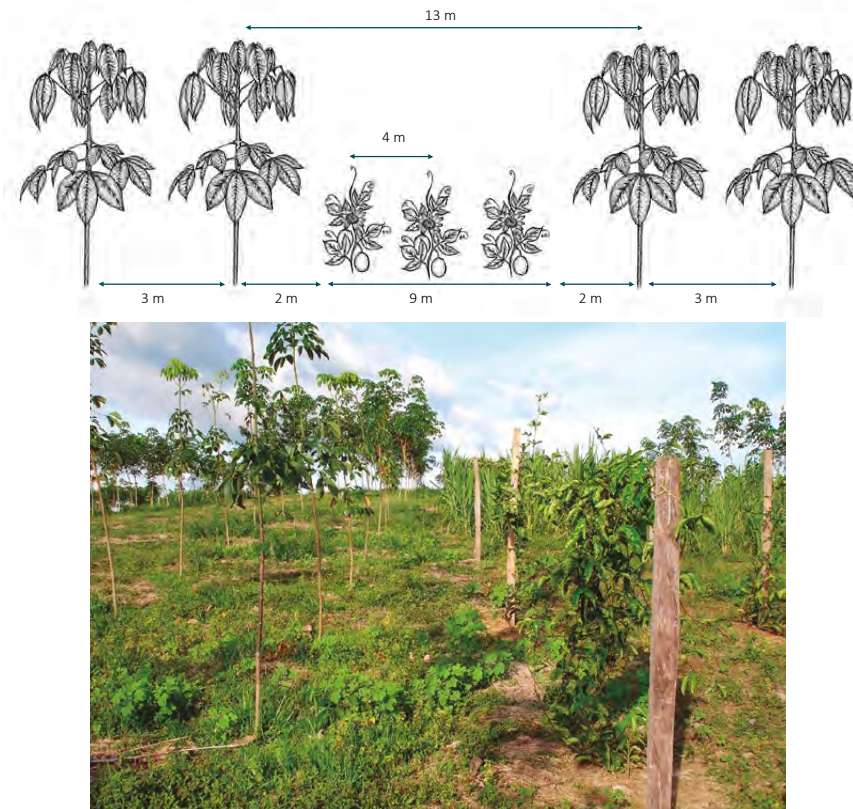


Figura 30.

Diseño modelo agroforestal caucho-maracuyá para el departamento de Antioquia, Colombia.

Modelo agroforestal caucho-pasto de corte

Para este modelo, se muestran los datos de distancias y densidad de siembra en la tabla 20 y un perfil horizontal con diseño en campo en la figura 31.

Tabla 20. Distancia y densidad de siembra para el modelo agroforestal caucho-pasto de corte

| Especie | Distancia (m) surco sencillo | Densidad (plantas/ha) | Distancia (m) surco doble | Densidad (plantas/ha) |
|----------------|------------------------------|-----------------------|---------------------------|-----------------------|
| Caucho | 7 x 2,8 | 586 | 13 x 3 x 2,5 | 510 |
| Pasto de corte | Surcos a 0,8 m | 0,57 ha | Surcos a 0,8 m | 0,58 ha |

Fuente: Elaboración Propia

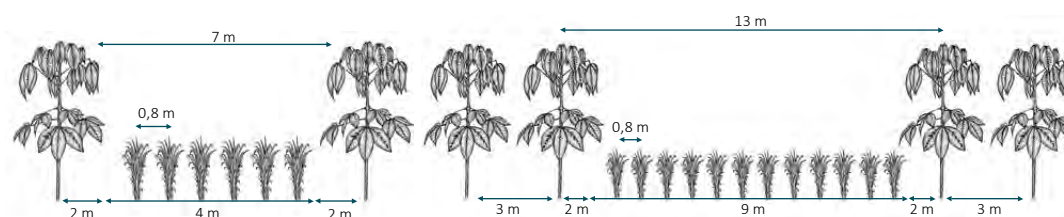


Figura 31.

Diseño modelo agroforestal caucho-pasto de corte para el departamento de Antioquia, Colombia.

Foto: Oscar de Jesús Córdoba
Ilustración: Sara Isabel Bedoya Ramírez

Siembra

La siembra de las plantas (*stumps*) de caucho se realiza en el inicio de la época de lluvias (abril-mayo), con el fin de garantizar una adecuada disponibilidad hídrica que asegure el rápido establecimiento y un adecuado desarrollo del sistema radical de las plántulas en campo. Para lograr el máximo prendimiento en campo cuando se utilizan plántulas en bolsa y con el injerto desarrollado, se recomienda que las plantas sean trasplantadas cuando el último flujo de crecimiento foliar esté en estado maduro (D). Es importante evitar el trasplante de plantas con flujos de hojas en estados inmaduros (A, B y C) (Pereira et al., 2001).

Resiembra

La resiembra es una práctica de gran importancia que tiene como finalidad garantizar una plantación uniforme y una densidad de árboles ideal (Embrater, 1983; Golçalves et al., 2011). Consiste en el reemplazo de plántulas muertas, con crecimiento irregular y con poco desarrollo, debido a problemas fisiológicos de incompatibilidad entre la copa y el patrón, así como limitantes de orden biótico (plagas y enfermedades) y abióticos (agua, temperatura, suelo, entre otros). La resiembra se debe realizar en la época lluviosa siguiente a la época de siembra, sin que haya transcurrido más de un año desde el establecimiento, y se recomienda cuando el mínimo de plantas por sustituir o reemplazar es mayor que el 10% del total de árboles establecidos (Embrater, 1983; Eraso & Toro, 2006). Por lo anterior, es importante que en el momento de la siembra se tenga en cuenta un excedente del 10% del material de siembra adicional como material de reserva, para una posible resiembra (Pereira & Carmo, 1985). Para esto, el tipo de material más recomendado es el *stump* en bolsa, por su fácil manipulación, que permite seleccionar plántulas en estados de desarrollo similares a las que se encuentran en campo, y así garantizar la uniformidad de la plantación.